

Рабочее совещание по слабым взаимодействиям

В декабре 1962 г. в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований состоялось рабочее совещание по слабым взаимодействиям. На совещании присутствовали физики из социалистических стран.

В первый день работы были обсуждены вопросы, связанные с влиянием форм-факторов в слабых взаимодействиях; в частности, обсуждалась роль форм-факторов в распадах гиперонов, K -мезонов и реакциях типа $\nu + N \rightarrow N + l + \dots$. При обсуждении было отмечено, что ввиду малой статистики в проведенном в Брукхейвене эксперименте по обнаружению μ -мезонного нейтрино, по-видимому, возможна альтернативная точка зрения, заключающаяся в том, что в природе существует одно нейтрино, а большое число μ -мезонов, обнаруженных в эксперименте, обусловлено большим вкладом псевдоскалярного форм-фактора. Предложены эксперименты для проверки этой гипотезы. Обсуждались правила отбора в распадах странных частиц. В дискуссии высказано мнение, что наличие правил отбора $\Delta S = \pm \Delta Q$ в совокупности с данными по измерению разности масс K^0 и \bar{K}^0 , по-видимому, находится в противоречии с записью гамильтониана в виде произведения тока самого на себя (Геллман, Фейнман).

Большое внимание было уделено космологической роли нейтрино; было заслушано сообщение о новой теории эволюции Вселенной, в которой в отличие от теории Гамова — Альфера запрещено образование легких элементов. (Образование легких элементов на ранней стадии эволюции Вселенной находится в противоречии с экспериментальными данными.)

Оживленную дискуссию вызвало сообщение о четырехкомпонентной записи теории с двумя нейтрино (электронным и мюонным). Было высказано мнение, что обе формулировки теории (двухкомпонентная и четырехкомпонентная) эквивалентны и не могут быть различены в экспериментах, не использующих гравитационное поле.

При обсуждении радиационных эффектов в слабых взаимодействиях было показано, что в пренебрежении членами порядка $\alpha \frac{m}{M}$ радиационные поправки не меняют корреляционных и поляризационных свойств распада. Установлена также роль матричных элементов, зависящих от энергии в радиационном захвате μ -мезонов на ядрах.

В. Беллев

Международная конференция по секторным циклотронам*

Первая конференция по спирально-секторным циклотронам состоялась в феврале 1959 г. в Си-Айленде (шт. Джорджия, США). За истекшее время интерес к этим машинам возрос и почувствовалась необходимость в организации следующей конференции. В апреле 1962 г. такая конференция была организована в Лос-Анжелесе Международным союзом чистой и прикладной физики, а также Калифорнийским университетом.

В заседании конференции участвовали 178 ученых и инженеров из четырнадцати стран, было заслушано около 60 докладов.

Дж. Ричардсон описал работающий с ноября 1960 г. спирально-секторный протонный ускоритель Калифорнийского университета с диаметром полюсов 125 см, рассчитанный на энергию 50 Мэв. Интересна конструкция дуантов этого циклотрона, которые расположены во «впадинах» магнитного поля; конструкция дуантов рассмотрена в докладе К. Маккензи. Благодаря примененной конструкции удалось уменьшить зазор между «гребнями» до 2,5 см и получить в этих точках поле 25 кэс, а среднее поле 19 кэс. Поэтому была достигнута большая для данного размера магнита энергия, но регулироваться она может лишь в пределах 10%.

У. Пауэлл доложил о 100-сантиметровом циклотроне томасовского типа, сооруженном в Бирмингеме, который ускоряет протоны (до 11 Мэв) и более тяжелые частицы. Инжекция ионов производится при энергии 10 кэв через отверстие в ядре. В настоящее время ток пучка составляет около 50 мка. Такая схема инжекции вполне применима для ускорения поляризованных ионов. Пауэлл рассказал также о фазовых измерениях на пучке.

Предварительные рабочие характеристики 224-сантиметрового спирального циклотрона в Беркли были изложены Э. Келли. Сооружение этой установки началось в январе 1958 г. Пучок был получен в декабре 1961 г. На установке можно получать протоны с энергией до 50 Мэв, дейтоны с энергией до 60 Мэв и тяжелые ионы. Во время пусковых работ интенсивность поддерживалась на уровне 10 мка. Интересной особенностью этой машины, о которой позже рассказал Б. Смит, является перестройка частоты, осуществляемая при помощи подвижных пластин, а не перемещением ускоряющего элемента вдоль дуантной системы. Дж. Ричардсон упомянул о некоторых экспериментах по выводу пучка из этого циклотрона. При помощи обмоток, создающих синусоидальное возмущение маг-

* D. Clark. Physics Today, 15, No. 8, 32 (1962).

нитного поля, пучок был выведен полностью без потерь в аксиальном направлении, однако размытие пучка в горизонтальной плоскости оказалось чрезмерно большим, так как обмотки находились не на оптимальном радиусе, а магнитные каналы не использовались.

Р. Уоршем описал установку в Ок-Ридже. Эта установка представляет собой 193-сантиметровый спирально-секторный циклотрон с перестраиваемой энергией, рассчитанный на ускорение различных частиц и дающий протоны с энергией до 80 Мэв. Тщательная подготовительная работа позволила почти сразу получить пучок на максимальном радиусе при токе ~250 мка. Пороговое напряжение на дуантах равно 13 кэ, что указывает на хорошую настройку магнитного поля и на то, что частицы делают по крайней мере 430 оборотов. Уоршем отметил, что этот ускоритель имеет вертикальный магнитный зазор, благодаря чему обеспечивается большая механическая жесткость дуантов. Однако, как указал Д. Джадд, такая конструкция имеет тот недостаток, что внешний пучок после прохождения отклоняющих магнитов размывается в двух плоскостях (вместо одной).

Затем последовало описание колорадского 132-сантиметрового спирального ускорителя с регулируемой энергией. В этой установке предполагают получать протоны с энергией 30 Мэв и дейтоны с энергией 20 Мэв. Дж. Кроушар описал первый этап запуска, отметив, что пучок был доведен до максимального радиуса всего лишь с двукратной потерей интенсивности. Об особенностях второго этапа рассказывал М. Рики. Пучок отрицательных ионов с интенсивностью 1 мка был ускорен до максимального радиуса, где подвергался перезарядке на алюминиевой фольге и выходил из магнитного поля. Р. Смит для большей определенности разместил рядом с источником устройство, запирающее положительные ионы. Некоторые расчеты процесса перезарядки, выполненные Райтом в 1956 г. в Калифорнийском университете, показали, что ускорение отрицательных ионов до небольших энергий вполне возможно. Колорадская группа впервые успешно осуществила это на практике. Результат зависит, в частности, от вакуума в камере, который желательнее поддерживать на уровне 10^{-6} мм рт. ст. или лучше.

Последняя работа вызвала среди участников оживленную дискуссию, так как она обещает значительное упрощение методики вывода пучка, поскольку обычно трудности вывода растут с энергией и интенсивностью. По-видимому, единственным принципиальным ограничением такого метода вывода пучка является распад Н⁻ионов, вызываемый силами Лоренца, существенными при больших скоростях и напряженностях магнитного поля. Так, например, вычисления Д. Джадда показали, что при 25 кэс распад будет происходить примерно при 50 Мэв. Для тех энергий, которые нужны для генерации мезонов, критическое поле было бы совсем малым и, следовательно, размеры магнита очень большими. Однако для большинства действующих или разрабатываемых спирально-секторных циклотронов распад ионов не должен представлять опасность.

Н. Верстер описал ускоритель с регулируемой энергией (для различных частиц), который предполагается построить в 1963 г. для лаборатории в Сакле. Он будет давать протоны с энергией до 25 Мэв. Магнитная медианная поверхность в этой установке была определена с точностью до 1 мм методом плавающей проволочки.

К. Стэндинг рассказал о своем методе «раскаленных» шимм, предназначенном для настройки поля циклотрона в Манитобе. Шиммы на полюсах предполагается

изготавливать из инвара. Каждая группа шимм с помощью внутренних каналов будет нагреваться до нескольких сотен градусов. Это будет менять магнитную проницаемость и соответственно магнитное поле в данной области. По мнению автора, такое устройство будет более эффективно, чем обычные корректирующие витки с током.

Дж. Лоусон доложил о некоторых аспектах разработки 180-сантиметрового циклотрона с регулируемой энергией в Резерфордской лаборатории в Харуэлде. Максимальная энергия протонов будет составлять 50 Мэв. Была исследована возможность электростатического вывода.

Несколько работ было посвящено теории орбит и вычислительной технике.

Два заседания были посвящены генерации мезонов. Р. Хэддок изложил современные данные по образованию мезонов. Он отметил также ряд экспериментов, для которых требуется интенсивность, характерная для циклотрона с азимутальной вариацией поля.

Л. Смит сравнил возможности ускорителей различных типов. Вначале он отметил, что с точки зрения генерации π^- -мезонов энергия 800 Мэв была бы гораздо более удобной, чем энергия 400 Мэв, и что для работы на внутренней мишени достаточно было бы интенсивности 10 мка. Затем докладчик привел очень интересное сравнение ускорителей, которые в качестве генераторов мезонов могут представить конкуренцию циклотрону с азимутальной вариацией поля. Он отметил, что фазотроны могут дать ток в 10 мка при энергии 600—800 Мэв, а полезное время цикла может быть увеличено до 100%, если использовать стохастический механизм ускорения. Однако проблема вывода пучка представляет трудности. Сильнофокусирующий синхрофазотрон на 700 Мэв дает 10 мка при полезном времени цикла 10% и обойдется в 7—8 млн. долл. Вывод пучка в этом случае сравнительно прост. Ускоритель с постоянным полем и сильной фокусировкой дал бы до 100 мка. Установка этого типа на энергию 750 Мэв стоила бы 10—12 млн. долл., но вывести пучок трудно. Циклотрон с азимутальной вариацией поля обеспечит 100—1000 мка при полезном времени 100%, но вывод пучка опять-таки представляет трудности. Стоимость такого циклотрона равнялась бы примерно 5 млн. долл. при энергии 400 Мэв и 10—12 млн. долл. при энергии 800 Мэв. Наконец, Смит упомянул о линейном ускорителе, который, по его мнению, может дать 400 мка при полезном времени цикла 1—10%. Вывод пучка, конечно, очень прост. Из всей рассмотренной группы линейный ускоритель был бы наиболее дорогостоящим и при энергии 800 Мэв обошелся бы в 15—17 млн. долларов.

Р. Уоллес рассмотрел проблему защиты и остаточной радиоактивности в установках, предназначенных для генерации мезонов. В своих расчетах он предполагал, что интенсивность внешнего пучка протонов при энергии 600 Мэв составит 100 мка. Для снижения активности при работе установки до допустимого уровня на расстоянии 15 м от мишени потребуются сооружать стену из бетона толщиной около 10 м. Проблемы, связанные с остаточной активностью самой установки и окружающего оборудования, очень серьезны, но все же разрешимы.

Дж. Блэзер рассказал о планах фирмы ЕТН в Цюрихе. Предполагается вместе с фирмой АЕГ построить в ФРГ 6-секторный циклотрон на 430 Мэв. Будут использованы два дуанта по 90°, работающих на второй гармонике частоты обращения. Н. Фогг-Нильсен доложил о разработке в ЦЕРНе шести-секторной установки, предназначенной для генерации

мезонов. Проект генератора мезонов в Ок-Ридже на 800 Мэв был представлен Р. Ливингстоном. Энергия в этой установке выбрана таким образом, что на максимальном радиусе будет достигаться резонанс $\nu_r = 2$ и пучок может быть легко выведен с помощью магнитного дефлектора.

О разработке фирмой AEG ускорителя на 400—450 Мэв доложил В. Мюллер. Для этого диапазона энергий желательно использовать 6 секторов, так как при трех или четырех секторах при энергии соответственно 190 и 240 Мэв существует нежелательный резонанс. Вблизи центра для увеличения коэффициента модуляции поля можно перейти к трем секторам. Стоимость установки оценивается в 5—6 млн. долл.

Дж. Ричардсон рассказал о своих соображениях по выбору параметров установки. Для ускорителя на 700 Мэв поле в центре должно быть равно 6 кэс. Должны использоваться дуанты, лежащие во «впадинах» магнитного поля и заходящие в область максимумов поля в центральной области. Интересной особенностью проекта является отсутствие в магнитной системе обратного яра.

Ок-Риджский электронный аналог протонного циклотрона на 800 Мэв работает с августа 1961 г. Эта установка была описана Дж. Мартином. Поле в ней (41 э) создается системой безжелезных обмоток. Особую трудность при запуске составил перевод пучка через резонанс $\nu_r = 2$. Было получено 2600 оборотов частиц, тогда как в моделируемой протонной установке требуется всего лишь 800 оборотов. Р. Джонс рассказал об интересном эксперименте, проведенном на этой

машине. 29 круговых и 8 секторных обмоток были размещены в случайном порядке. После этого была предпринята попытка настроить циклотрон с помощью ручек управления, наблюдая за индикатором тока пучка. За восемь часов пучок был выведен на максимальный радиус, чем было доказано, что циклотрон можно настроить и без помощи вычислительной техники.

На специальном заседании обсуждались эксперименты, которые предполагается поставить на новых секторных циклотронах. Было рассмотрено много экспериментов в диапазоне энергий 10—100 Мэв. Сюда относятся исследования нуклон-нуклонного взаимодействия, в том числе $p-p$ - и $n-p$ -рассеяния, а также различные эксперименты на поляризованных пучках, которые станут практически возможными при ожидаемых больших интенсивностях. Затем рассматривалось упругое и неупругое рассеяние нуклонов на ядрах и ядерные реакции, в частности, при использовании поляризованных пучков или мишеней. На многих вступающих в строй циклотронах можно будет проводить эксперименты с тяжелыми ионами. Большое значение будут иметь также работы по ядерной спектроскопии, особенно с точки зрения точного определения энергетических уровней.

К концу конференции у участников сложилось общее мнение, что по разработке и конструированию секторных циклотронов проделана большая работа, но предстоит сделать еще немало. На конференции была рассмотрена 41 установка; из них 11 уже работают, 12 сооружаются, а остальные находятся на различных стадиях разработки и конструирования.

А. Л.

Две недели у английских физиков

Осенью 1962 г. делегация советских специалистов по ядерной физике и ускорителям заряженных частиц, в состав которой входили авторы, посетила научно-исследовательские центры и физические лаборатории нескольких университетов Великобритании.

За время пребывания в стране делегация посетила Атомный центр в Харуэлле, Национальный институт ядерных исследований (Лабораторию высоких энергий им. Резерфорда), а также познакомилась с исследованиями по ядерной физике, проводимыми в университетах Оксфорда, Бирмингема, Манчестера, Ливерпула, Глазго.

Разумеется, за две недели невозможно детально ознакомиться с состоянием исследований по ядерной физике и ускорительной технике целой страны. Однако мы получили представление об основных направлениях исследований и расскажем о нем в этой заметке.

В настоящее время уровень исследований в области ядерной физики в значительной степени определяется развитием ускорительной техники, поэтому вначале мы кратко опишем действующие и строящиеся ускорители заряженных частиц.

Наиболее крупным ускорителем является синхротрон Бирмингемского университета, введенный в строй в 1953 г., на котором протоны ускоряются до энергии 1 Гэв и дейтоны — до 650 Мэв. Интенсивность пучка составляет 10^9 частиц в импульсе при шести импульсах в минуту.

Вторым крупным ускорителем является фазотрон Ливерпульского университета с максимальной энергией ускоренных протонов 400 Мэв. Интенсивность выведенного пучка протонов составляет $3 \cdot 10^{10}$ частиц/см²/сек,

π^+ - и π^- -мезонов — 10^3 и $3,5 \cdot 10^3$ частиц/см²·сек соответственно.

С 1954 г. в университете Глазго действует электронный синхротрон на энергию 400 Мэв.

Основная тематика исследований на этих трех ускорителях связана с физикой элементарных частиц.

Четвертым действующим крупным ускорителем является фазотрон в Харуэлле, на котором ускоряются протоны до энергии 166 Мэв.

Говоря о действующих ускорителях, следует отметить, что лаборатории Великобритании хорошо оснащены ускорителями на энергии до нескольких десятков миллионов электронвольт, что позволяет широко проводить исследования по физике атомного ядра.

С 1960 г. в Национальном институте ядерных исследований работает протонный линейный ускоритель на энергию 50 Мэв. Отключая отдельные секции ускорителя, можно получить энергии 30 и 10 Мэв. На этом ускорителе имеется источник поляризованных протонов, действие которого основано на разделении пучка атомов водорода в неоднородном магнитном поле (степень поляризации — 32%, интенсивность — $5 \cdot 10^7$ частиц/сек).

Большая программа исследований связана с использованием электростатических ускорителей. Имеется несколько ускорителей на 6 Мэв и меньше, а также tandemные ускорители на энергию 12 Мэв (Харуэлл, Ливерпуль, Олдермастон).

В университете Бирмингема для ускорения протонов, дейтонов, α -частиц и ионов Ne^3 используется циклотрон «Наффилд» на энергию 10 Мэв. Кроме того, в этом университете, имеется циклотрон с вариацией магнит-